Klima i klimatske promjene

Čedo Branković[1]

Uvod

Klima je jedna od najvažnijih komponenti životnog okoliša kojoj se valja prilagoditi, iskoristiti njezine prednosti, ali i zaštititi od njezinih mogućih štetnih utjecaja. U ovom članku opisano je što je klima, kako se ona mijenja, te kako čovjek utječe na klimu i klimatske promjene. Klimatske promjene diskutirane su samo za vremenske skale reda veličine stotinu godina; promjena klime u puno duljim razdobljima (uz prevladavajući astronomski utjecaj) nije tema ovog članka. Promjene su prvenstveno prikazane u atmosferskoj komponenti klimatskog sustava (temperatura zraka, oborina) jer se one neposrednije osjete i imaju najveći utjecaj na društvo i život; ostale promjene, kao što su primjerice dizanje razine mora ili topljenje ledenjaka, nisu detaljno diskutirane. Modeliranje vremena i klime je specijalizirana grana suvremene meteorologije (klimatologije) i usko je povezana s matematikom i računalnom znanošću. Kemijski sastav i kemijska svojstva atmosfere (i oceana) sve se više istražuju kako u svrhu zaštite kvalitete okoliša tako i zbog utjecaja stakleničkih plinova na klimatske promjene. Bez mjerenja i opažanja mnoge spoznaje o klimi ne bi bile moguće, tako da klimatologija ovisi o znanstvenim mjernim tehnologijama među kojima istaknuto mjesto pripada najnovijim satelitskim instrumentima. Dakle, suvremena klimatologija ima puno dodirnih točaka s mnogim prirodnim i tehničkim znanostima, pa bismo je mogli čak definirati kao multidisciplinarnu znanost. Ona zahtijeva kontinuirano učenje i čini uzbudljivo područje znanstvenog istraživanja i primjene u praksi.

Što je klima?

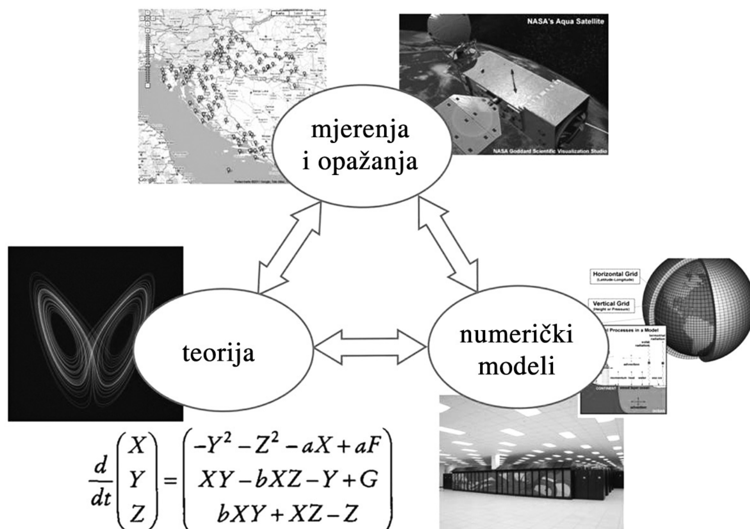
Klimu ili podneblje nekog područja u nekom razdoblju definiramo kao skup osrednjenih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata (varijabli) i pojava. Na klimu utječu Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, sastav atmosfere, oceanske i zračne struje, razdioba kopnenog i morskog leda, zemljopisna širina, reljef, razdioba kopna i mora, nadmorska visina, udaljenost od mora ili većih vodenih površina, sastav tla, biljni pokrov, a također i djelovanje čovjeka, [5]. Obično se veli da na klimu nekog područja utječe sveukupni *klimatski sustav* koji je sačinjen od atmosfere, hidrosfere, kriosfere (led), tla i biosfere, te da je klima samo "vanjska" manifestacija složenih i nelinearnih procesa unutar klimatskog sustava koji imaju svoju dinamiku i međudjelovanje. Za razliku od klime, svakodnevno *vrijeme* opisuje trenutačno ili kratkoročno stanje meteoroloških elemenata.

Najvažniji meteorološki elementi koji definiraju klimu (onda ih nazivamo i klimatskim elementima) su sunčevo zračenje (insolacija), temperatura zraka, tlak, smjer i brzina vjetra, vlažnost, oborina, isparavanje, naoblaka i snježni pokrivač. Da bi se odredila klima nekog područja potrebno je mjeriti ili opažati meteorološke elemente kroz dulje

[1] Autor je viši znanstveni suradnik na Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ), Zagreb, e-pošta: `cedo.brankovic@cirus.dhz.hr`

vremensko razdoblje (obično 30 godina). Mjerenje meteoroloških elemenata vrši se na postajama koje se nalaze uglavnom na kopnu, ali i na oceanima (brodovi, plutače), te u novije vrijeme pomoću meteoroloških satelita. Osim površine Zemlje, meteorološka mjerenja zahvaćaju i više slojeve atmosfere.

Klima nekog područja obično je dobro poznata i klasificira se prema vrijednostima srednjaka i tipičnog raspona vrijednosti klimatskih elemenata. Tako klimu možemo podijeliti na kontinentalnu, planinsku (gorsku), primorsku (mediteransku), oceansku, pustinjsku, tropsku, monsunsku, arktičku, itd. Primjerice, u Osijeku, za čiju klimu velimo da je kontinentalna, srednja temperatura zraka u siječnju je $-1.2\,^{\circ}\mathrm{C}$, dok je u Dubrovniku (mediteranska klima) ta vrijednost $8.8\,^{\circ}\mathrm{C}$. Ove vrijednosti odnose se na referentno 30-godišnje razdoblje 1961. – 1990.



Slika 1. Povezanost komponenti istraživanja klime i klimatskih promjena. (Izvor: prilagođeno prema `www.meted.ucar.edu`*.)*

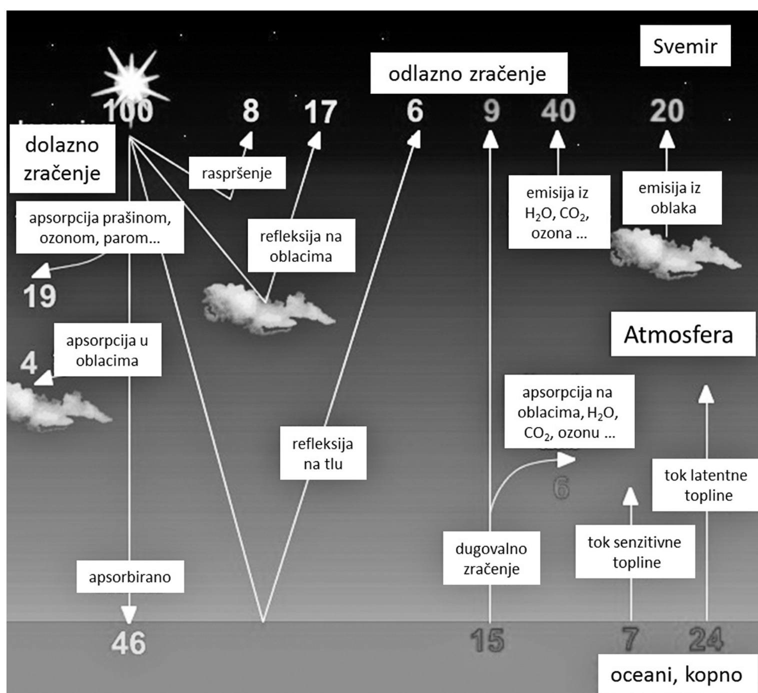
U istraživanju klime, koriste se mjerenja, teorijske spoznaje i numerički modeli (slika 1). U Hrvatskoj se meteorolozi i klimatolozi obrazuju na preddiplomskom, diplomskom i doktorskom studiju geofizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF) Sveučilišta u Zagrebu (`www.pmf.unizg.hr/geof`), te na interdisciplinarnom studiju fizike okoliša PMF-a Sveučilišta u Splitu (`http://fizika.pmfst.hr/okolis/studij.php`).

Klimatske promjene i klimatske varijacije

Klima nije strogo statična već se, kroz neko dulje razdoblje, može mijenjati. Promjenu klime nekog područja valja razlikovati od varijacija unutar nekog klimatskog razdoblja; varijacije se odnose na razlike unutar puno kraćih razdoblja, primjerice od jedne godine do druge. Ovakve varijacije prirođene su klimatskom sustavu i posljedica su prirođene varijabilnosti i kaotičnih svojstava atmosfere, [4]. Iskustvena je spoznaja da dvije uzastopne zime nisu jednake – jedna može biti osjetno hladnija (ili toplija) od druge. Takva varijacija još ne ukazuje da je došlo do klimatske promjene. Također, varijacije klime koje su kraće od standardnog klimatskog razdoblja (primjerice El Niño oscilacija)

ne ubrajaju se u klimatske promjene. Međutim, ako nastupi značajna i trajna promjena u statističkoj razdiobi klimatskih elemenata (ili vremenskih pojava), obično u razdoblju od nekoliko dekada pa sve do milijuna godina, onda govorimo o promjeni klime. Dakle, ako bi se u nekom budućem dugoročnom razdoblju siječanjski srednjaci temperature zraka u Osijeku i Dubrovniku osjetno promijenili u odnosu na gore navedene onda velimo da su nastupile klimatske promjene.

Globalna promjena klime povezana je s promjenama u globalnoj energetskoj ravnoteži Zemlje; lokalna promjena klime može se pripisati geofizičkim promjenama na manjoj prostornoj skali kao što je, primjerice, deforestacija. Dakako, općenito je važnija globalna promjena klime. Slika 2 pokazuje da ukupna sunčeva energija koja ulazi u atmosferu (100%) mora biti točno uravnotežena s ukupnom izlaznom energijom. U protivnom dolazi do poremećaja energetske ravnoteže Zemlje te je potrebno određeno vrijeme da bi se uspostavila nova energetska ravnoteža.

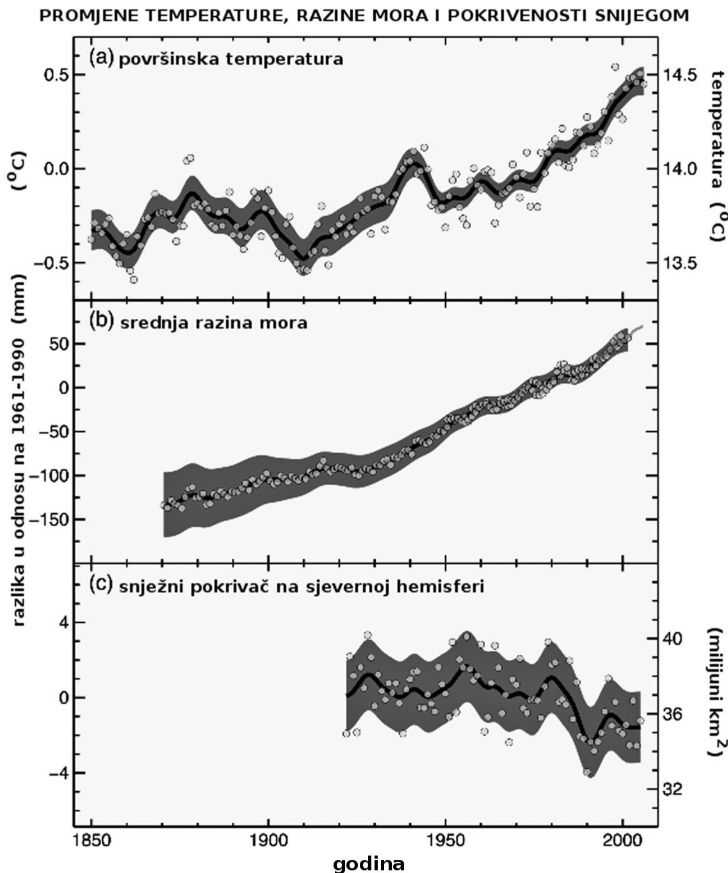


Slika 2. Energetska bilanca Zemlje (u postocima). Izvor: Internet.

Uzroke promjene klime dijelimo na prirodne i zbog ljudskog utjecaja. Prirodni uzroci su varijacije u Sunčevom zračenju, orbiti Zemlje (astronomski uzroci), vulkanske erupcije, a na geološkoj vremenskoj skali čak i tektonski poremećaji. Zračenje Sunca se kroz neko dulje razdoblje malo mijenja, a prema dosadašnjim spoznajama varijacije Sunčevog zračenja imaju mali utjecaj na globalnu klimu. Astronomski faktori vezani su uz Milankovićeve cikluse (vidjeti prilog o M. Milankoviću, MFL 1/ 241, 2010./ 2011.) koji uzrokuju znatne promjene klime (ledena doba); međutim, te se promjene odvijaju na vremenskoj skali od nekoliko tisuća godina i nisu predmet ovog članka. Vulkanske erupcije mogu utjecati na klimu jer, zbog vulkanskog dima, u visoke slojeve atmosfere dolazi velika količina krutih čestica (aerosoli) koje Sunčevo zračenje reflektiraju natrag

u svemir i uzrokuju hlađ enje. Efekti vulkanskih erupcija nisu dugotrajni jer strujanje atmosfere raznosi aerosole i tijekom vremena umanjuje njihovo djelovanje.

Ljudski utjecaj na klimu očituje se kroz razne oblike ljudskih aktivnosti i djelovanja. To su, primjerice, iskrčivanja šuma (deforestacija) i povećanja obradivih površina. Zbog potrošnje fosilnih goriva (u proizvodnji energije, prometu, poljoprivredi, itd.) ljudi doprinose povećanju koncentracije ugljičnog dioksida (CO_2) i drugih plinova u atmosferi i tako utječu na jačanje efekta staklenika, i posljedično globalno zagrijavanje. Ljudi također doprinose povećanju aerosola u zraku, a isto tako mogu uzrokovati promjene u ozonskom omotaču.



Slika 3. Opažene promjene globalne (a) površinske temperature, (b) srednje razine mora i (c) snježnog pokrivača na sjevernoj hemisferi. (Izvor: IPCC 2007.)

Promjena globalne klime u zadnjih stotinjak godina pokazana je na slici 3 za nekoliko elemenata klimatskog sustava: površinske temperature, visine razine mora i pokrivenost sjeverne hemisfere snijegom. Porast temperature od 1950-tih je izuzetno izražen i podudara se s porastom koncentracije ugljičnog dioksida, najvažnijeg plina staklenika, te se prema analizama koje objavljuje Međuvladin panel za klimatske

promjene (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) oba porasta s velikom pouzdanošću mogu pripisati ljudskom djelovanju (IPCC 2007, 2013).

Modeliranje klime i klimatskih promjena

Klimatski modeli

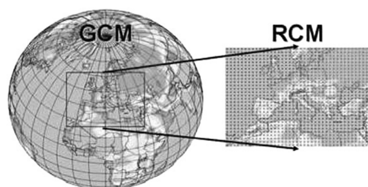
Atmosfera je fluid u kojem vladaju fizikalni zakoni hidrodinamike i termodinamike, a koji se mogu opisati matematičkim nelinearnim diferencijalnim jednadžbama. Ukoliko se skup takvih jednadžbi primjenjuje u praksi, onda ga nazivamo *model*. Dakle, na osnovi primjenjivih fizikalnih zakona klimatski model izračunava kvantitativno stanje klimatskih elemenata dobiveno međudjelovanjem komponenata klimatskog sustava. Postoje različite vrste klimatskih modela: od razmjerno jednostavnih u kojima se izračunava energetska ravnoteža zatvorenog sustava, a koja se osniva na tokovima (fluksevima) energije (topline, vlažnosti), pa sve do vrlo složenih modela opće cirkulacije atmosfere. Ovdje pod klimatskim modelom prvenstveno podrazumijevamo onaj skup jednadžbi koji opisuje opću cirkulaciju atmosfere. Model opće cirkulacije atmosfere može biti "združen" s modelom cirkulacije oceana, modelom ledenih pokrivača, modelom procesa u tlu, modelom vegetacije, itd., te može uključivati razne kemijske procese unutar komponenata klimatskog sustava. Ako su, dakle, uvaženi kompleksni procesi raznih komponenata klimatskog sustava, onda govorimo o *globalnom klimatskom modelu* (engl. *global climate model*, GCM) ili modelu Zemljinog sustava (engl. *Earth system model*, ESM).

Praktički je nemoguće riješiti diferencijalne jednadžbe globalnog klimatskog modela analitičkim putem. Zato se jednadžbe diskretiziraju, odnosno formuliraju u numeričkoj formi iz koje se onda izvodi računalni ili numerički program koji se rješava na računalima. Numerička diskretizacija znači da se računanje obično vrši u točkama neke računalne mreže (regularne, geografske,...) ili u nekom drugom obliku (primjerice, spektralnom prostoru). Naravno, zbog numeričke diskretizacije, rješenja dinamičkih jednadžbi mogu biti samo aproksimativna, dakle ne i apsolutno točna. Drugi izvor za aproksimativni izračun stanja klimatskog sustava jest nedostatno poznavanje mnogih procesa unutar klimatskog sustava. Primjerice, još uvijek su manjkave spoznaje o međudjelovanju oblaka i okolne atmosfere ili izmjeni energije između tla (oceana) i atmosfere.

Računalni programi globalnih klimatskih modela, kao i modela za prognozu vremena (koji su sa znanstvenog i tehnološkog aspekta posve slični klimatskim modelima) su vrlo zahtjevni za računalnim kapacitetima. Njihove računalne "apetite" mogu zadovoljiti samo superračunala; primjerice, Hadley Centar za klimatska istraživanja britanske meteorološke službe u Exeteru koristi superračunalo IBM koje izvrši 100 trilijuna kalkulacija u sekundi, a računalni program modela za prognozu vremena Europskog centra za srednjoročne prognoze (ECMWF) u Readingu, Velika Britanija ima preko 1.5 milijuna linija programskog kôda. Za rješavanje numeričkih jednadžbi klimatskih modela (što onda nazivamo numeričkim integracijama) i modela za vremenske prognoze koriste se složene računalne arhitekture koje sačinjavaju deseci tisuća procesora i sustavi s velikim diskovnim kapacitetima. Razvoj klimatskih modela, dakle, uvelike je ovisan o razvoju računalne tehnologije (superračunala).

Za razliku od globalnih klimatskih modela, *regionalni klimatski modeli* pokrivaju neko manje područje (kontinent, regiju) i u pravilu imaju znatno bolju horizontalnu

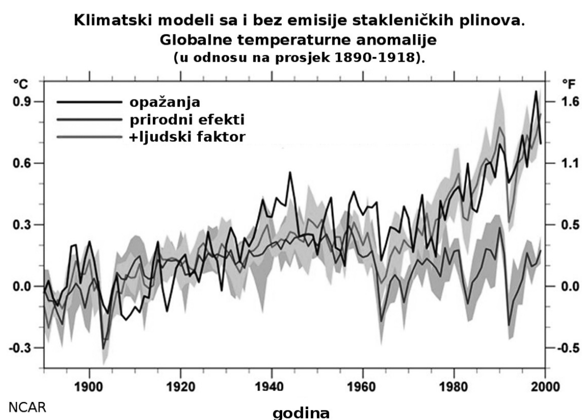
rezoluciju od globalnih modela (slika 4). Takva, finija, računalna mreža omogućava detaljnije izračune klimatskih elemenata nego u globalnim klimatskim modelima. Regionalni modeli moraju dobivati *početne* i *rubne granične uvjete* kako bi mogli uopće funkcionirati. Ti se uvjeti u praksi najčešće uzimaju od globalnih modela.



Slika 4. Primjer računalnih mreža globalnog i regionalnog klimatskog modela. (Izvor: Svjetska meteorološka organizacija, WMO.)

Modeliranje klimatskih promjena

Da bi se utvrdilo u kojoj mjeri klimatski model uspješno reproducira globalnu ili regionalnu (lokalnu) klimu, numeričke se jednadžbe moraju prvo integrirati za neko prošlo vremensko razdoblje za koje postoje izmjereni klimatski podaci. Onda velimo da klimatski model *simulira* stvarnu klimu. Usporedbom simulirane klime sa stvarnom klimom (proces poznat kao *validacija* modela) određuje se stupanj povjerenja u klimatski model. Ukoliko je razlika između simulirane i stvarne klime velika kaže se da klimatski model ima veliku *sustavnu pogrešku* (engl. *systematic error*). Naša pouzdanost u kvalitetu klimatskog modela je obrnuto proporcionalna njegovoj sustavnoj pogrešci. Naravno da zbog raznih aproksimacija u klimatskom modelu sustavna pogreška praktički nikad neće biti jednaka nuli.



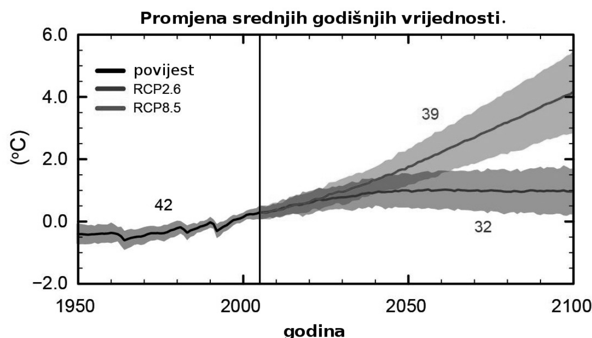
Slika 5. Simulacija opažene promjene temperature u 20. stoljeću. (Izvor: `www.meted.ucar.edu`*).*

Iz klimatskih simulacija opaženog stanja ili "sadašnje" klime moguće je utvrditi da su opažene klimatske promjene u zadnjih 50-tak godina posljedica utjecaja i djelovanja čovjeka. Na slici 5 crna podebljana krivulja pokazuje izmjereni porast globalne temperature (odnosno temperaturnih anomalija) izračunat iz tisuća podataka

meteoroloških mjerenja. Taj porast postaje izraženiji od 70-tih godina 20. stoljeća. Crveno sjenčano područje su simulacije nekoliko globalnih klimatskih modela u kojima su, uz prirodne faktore koji djeluju na klimu, također uvaženi i ljudski faktori (izraženi kroz porast emisija stakleničkih plinova). Modeli dosta dobro prate opaženi porast temperature, a debljina sjenčanog područja ukazuje na razlike ili rasap u simulacijama između različitih modela. Ukoliko se u klimatskim modelima isključi ljudski utjecaj, odnosno izostavi porast emisija plinova staklenika, onda ne dolazi do porasta temperature (plavo sjenčano područje na slici 5). Dakle, klimatski modeli u simulacijama prošle klime jasno i nedvosmisleno ukazuju da je do porasta temperature (globalnog zagrijavanja) u zadnjim desetljećima 20. stoljeća i u 21. stoljeću došlo zbog povećanja koncentracija plinova staklenika, prvenstveno CO_2.

Modeliranje buduće klime

Klimatski modeli nezaobilazni su u procjenjivanju budućih klimatskih promjena koje mogu nastati zbog utjecaja čovjeka jer jedino oni mogu "predvidjeti" buduće stanje klimatskog sustava. Za taj proces važna je pretpostavka o budućim emisijama stakleničkih plinova, a koje pak ovise o socioekonomskom stupnju razvoja čovječanstva: broju stanovnika na Zemlji, proizvodnji i potrošnji energije, urbanizaciji, veličini i iskorištenosti obradivog zemljišta, korištenju vodnih resursa, biljnom pokrovu, prometu, itd. S obzirom da nije moguće precizno znati budući stupanj razvoja i da se on mijenja tijekom vremena, postoji više *scenarija* emisija stakleničkih plinova koji se uvažavaju u klimatskim modelima kako bi se onda mogao odrediti njihov utjecaj na komponente klimatskog sustava. Onda govorimo o *projekcijama* budućeg stanja klime.

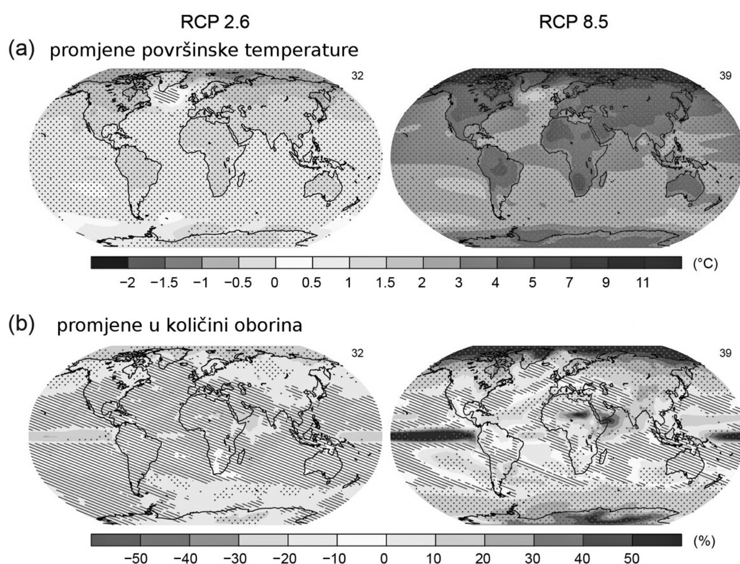


Slika 6. Promjena srednjih godišnjih vrijednosti do konca 21. stoljeća za globalnu površinsku temperaturu u odnosu na referentno razdoblje 1986.–2005. Sjenčana područja odnose se na scenarij RCP2.6 (plavo) i RCP8.5 (crveno). Crna krivulja (sivo sjenčanje) je simulacija vremenske evolucije historijskih podataka do 2005. godine. (Izvor: IPCC 2013.)

Slika 6 prikazuje promjenu vrijednosti globalne godišnje površinske temperature do konca 21. stoljeća uz primjenu dva različita scenarija (IPCC 2013): za razmjerno male buduće emisije CO_2 (označeno kao RCP2.6) i za osjetno veće emisije (RCP8.5). Prema prvom scenariju, porast *osrednjene* globalne temperature na godišnjoj razini od oko 1 °C ostvario bi se nešto prije 2050. godine te se do konca stoljeća ne bi značajnije mijenjao (slika 6, plava krivulja). Sjenčano plavo područje označava rasap rješenjâ dobiven iz 32 globalna klimatska modela. Ovaj scenarij malo je vjerojatan s obzirom na dosegnutu sadašnju razinu emisija i koncentracija stakleničkih plinova i njihove trendove

u neposrednoj budućnosti. Prema scenariju RCP8.5, srednji porast globalne godišnje temperature do konca 21. stoljeća dosegnuo bi oko 4 °C (slika 6, crvena krivulja) s time da je taj porast od 2005. godine kontinuiran. Oba promatrana scenarija ne uključuju (jer to nije moguće!) buduće značajne vulkanske erupcije koje bi mogle donekle utjecati na evoluciju klimatskih promjena. Prikazani porast srednje godišnje temperature ujedno znači da će u budućnosti biti više toplih temperaturnih kao i manje hladnih ekstrema. Posljedično, mogli bi očekivati češće i dugotrajnije toplinske valove. Međutim, ovakve promjene ne isključuju i pojavu hladnih temperaturnih ekstrema zimi kao i do sada!

Projicirani porast temperature neće biti ravnomjeran već će neka područja iskusiti jače zatopljenje od drugih. Slika 7a pokazuje da će, u odnosu na referentno razdoblje 1986. – 2005., promjena u zadnja dva desetljeća 21. stoljeća, 2081. – 2100., biti najveća u visokim i polarnim zemljopisnim širinama, te da će zatopljenje biti izraženije iznad kopna nego nad morem. Promjene u oborini (slika 7b) također neće biti jednolike. Prema koncu 21. stoljeća veći porast oborine (na godišnjoj razini) projiciran je u višim zemljopisnim širinama i u ekvatorskom Pacifiku. Vrlo je vjerojatno da će ekstremni oborinski događaji iznad kopna umjerenih širina postati intenzivniji i češći.



Slika 7. Prostorna razdioba promjene u razdoblju 2081. – 2100. u odnosu na razdoblje 1985. – 2005. prema scenarijima RCP2.6 (lijevo) i RCP8.5 (desno) za a) srednju godišnju površinsku temperature (u °C) i b) srednju godišnju količinu oborine (u %). (Izvor: IPCC 2013.)

Neizvjesnost u klimatskom modeliranju

Uz gore prikazane rezultate, ali i uz modeliranje klime i klimatskih promjena općenito vezano je niz neizvjesnosti (engl. *uncertainties*). Ovo je vrlo važno naglasiti, kako se ne bi stekao dojam da su prikazane klimatske promjene apsolutne i nedvojbene. Neke od neizvjesnosti smo već spomenuli ranije, a ovdje ćemo ih detaljnije prodiskutirati. Hawkins i Sutton (2009) dijele izvore neizvjesnosti u tri grupe: a) unutarnja (prirodna)

varijabilnost klimatskog sustava, b) nesavršenost klimatskih modela i c) nepoznavanje buduće koncentracije stakleničkih plinova. Na početku 2. poglavlja spomenuli smo prirođene varijacije unutar klimatskog sustava, primjerice dvije uzastopne vrlo različite zime (ili ljeta). Ako su česte i intenzivne, varijacije (ili klimatske fluktuacije) mogu "zamaskirati" buduće klimatske promjene. Ovo može biti slučaj u neposrednoj budućnosti kad klimatske promjene nisu izražene; primjerice na slici 6 porast globalne temperature do 2050. godine je u oba scenarija relativno malen. U daljoj budućnosti klimatske promjene imaju veću amplitudu, pa prirođene klimatske fluktuacije imaju manji utjecaj.

Nesavršenost klimatskih modela je višeznačna. Prije svega naše znanstvene spoznaje i razumijevanje klimatskog sustava su ograničene; postoji mnoštvo procesa u atmosferi, oceanima i ostalim komponentama klimatskog sustava koji još nisu dobro objašnjeni ili su nepoznati. Već ranije smo spomenuli da su numerička samo aproksimacije stvarnih rješenja. Nadalje, mnogi fizikalni procesi malih skala (turbulencija, mikrofizika oblaka, konvekcija, zračenje) u modelima nisu eksplicitno razlučeni zbog neadekvatne rezolucije samih modela te ih se mora *parametrizirati* empirijskim jednadžbama koje su izvedene iz podataka mjerenja. No, s obzirom da ne postoji jedinstven način parametrizacije, isti procesi mogu se drugačije prikazati u različitim modelima. Zato i dolazi do rasapa rješenja u numeričkim integracijama, čak i pri istom scenariju (ili prisilnom djelovanju), a koji se očituje kao sjenčana područja u slikama 5 i 6. Dakle, ne bi se trebali promatrati rezultati samo jednog klimatskog, već rezultati *skupa* različitih modela (ili *ansambla*, engl. *ensemble*), a sjenčana područja u slikama 5 i 6 onda ukazuju na raspon mogućih i jednako vjerojatnih rješenja.

Buduće koncentracije plinova staklenika i aerosola su možda najveća nepoznanica u klimatskom modeliranju. Nitko sa sigurnošću ne može predvidjeti veličinu buduće populacije na Zemlji, niti kakav će biti stupanj industrijskog i tehnološkog razvitka. Zbog toga su definirani različiti scenariji kako bi se mogle utvrditi, barem približno, donja i gornja granica klimatskih promjena.

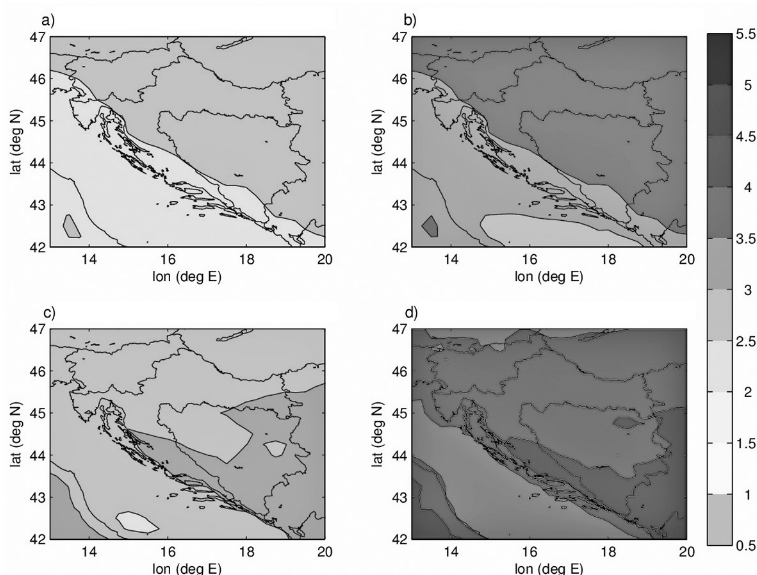
Buduće klimatske promjene u Hrvatskoj

Nedvojbeno je da su klimatske promjene, barem djelomice uzrokovane ljudskim djelovanjem, već prisutne. Znanstvena istraživanja pokazuju da će se trend povećanja klimatskih promjena nastaviti i u budućnosti. A kakve klimatske promjene možemo očekivati u Hrvatskoj? U istraživanju obavljenom u DHMZ korišteni su rezultati 18 regionalnih klimatskih modela s rubnim uvjetima iz četiri globalna klimatska modela. Projekcije su rađene prema scenariju koji je po emisijama CO_2 negdje između RCP2.6 i RCP8.5. Svi regionalni modeli integrirani su za područje Europe na horizontalnoj rezoluciji od oko 25 km u okviru velikog europskog projekta ENSEMBLES[2].

Slika 8 pokazuje da bi do konca ovog stoljeća moglo doći do osjetnog zatopljenja u Hrvatskoj. Za razdoblje oko sredine 21. stoljeća (slika 8a) tijekom zime projiciran je porast temperature između 2.5 i 3 °C u kontinentalnoj Hrvatskoj te nešto blaži porast u obalnom području. Ljeti je u središnjoj i južnoj Dalmaciji moguć porast između 3 i 3.5 °C, a u ostalim dijelovima Hrvatske 2.5 i 3 °C (slika 8c). Projekcije upućuju na mogući izrazito visok porast temperature u zadnjih 30 godina 21. stoljeća. U kontinentalnoj Hrvatskoj zimi projicirani porast je od 3.5 do 4 °C te nešto blaži porast u obalnom području – između 3 i 3.5 °C (slika 8b). Ljetni, projicirani porast temperature

[2] `http://www.ensembles-eu.org/`

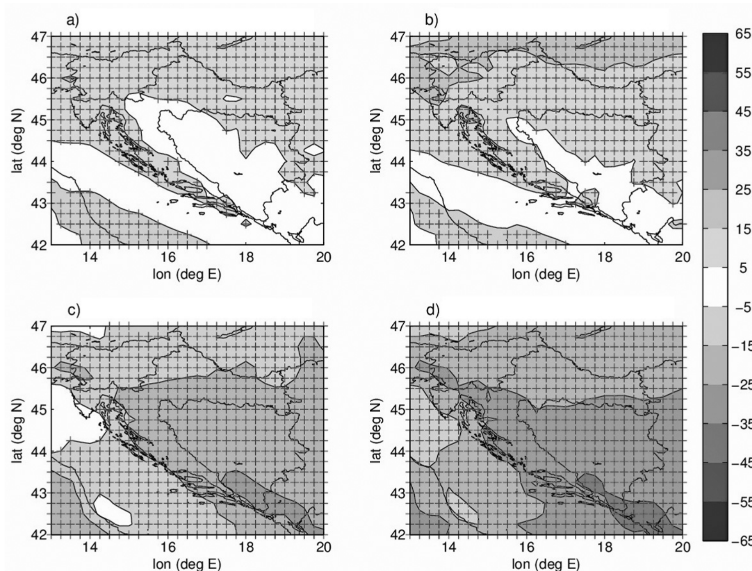
je vrlo izražen, u južnoj i središnjoj Dalmaciji između 4.5 i 5 °C, a u ostalim dijelovima Hrvatske između 4 i 4.5 °C (slika 8d).



Slika 8. Promjena temperature na 2 m (u °C) u odnosu na referentno razdoblje 1961. – 1990. za zimu (gore) i ljeto (dolje) za razdoblje 2041. – 2070. (lijevo) i razdoblje 2071. – 2100. (desno). U svim točkama dvije trećine modela daje isti predznak promjene kao srednjak skupa klimatskih modela.

Projiciran zimski porast količine oborine između 5 i 15% za razdoblje oko sredine 21. stoljeća (slika 9a) ostaje praktički neizmijenjen i u zadnjem 30-godišnjem razdoblju 21. stoljeća, kada taj porast zahvaća veće dijelove Hrvatske (slika 9b). Osjetnije smanjenje oborine oko sredine stoljeća, između −15 i −25%, očekuje se tijekom ljeta gotovo na cijelom području Hrvatske s izuzetkom krajnjeg sjevera i zapada gdje bi smanjenje bilo između −5 i −15% (slika 9c). Prema koncu stoljeća u središnjoj i istočnoj Hrvatskoj i Istri projicirano smanjenje oborine bilo bi od −15 do −25%, a u gorskoj Hrvatskoj te u većem dijelu Primorja i zaleđa između −25 i −35% (slika 9d).

Čak i blaže klimatske promjene od gore opisanih mogle bi imati znatan utjecaj na društvo i život. Primjerice povećanje temperature, osobito ljeti, imat će za posljedicu povećanje potrošnje električne energije za rashlađivanje. S obzirom da se u Hrvatskoj velike količine električne energije proizvode iz hidro potencijala, smanjenje količine oborine u ljetnom dijelu godine može ugroziti proizvodnju potrebne električne energije. Združeni efekti povećanja temperature i smanjenja količine oborine mogu u ljetnom razdoblju rezultirati u povećanom broju i dugotrajnijim sušama, te tako utjecati na proizvodnju hrane, ali i na povećanu opasnost od šumskih požara. S druge pak strane, projicirano zatopljenje može imati pozitivan utjecaj na produljenje turističke sezone na prijelazne klimatološke sezone – proljeće i jesen te na manje energije potrebne za zagrijavanje zimi. Dakle, buduće klimatske promjene ne moraju uvijek donijeti i negativne posljedice. Bez obzira na krajnji ishod valja se za njih unaprijed pripremiti kako bismo im se lakše prilagodili.



Slika 9. Promjena ukupne oborine (u %) u odnosu na referentno razdoblje 1961. – 1990. za zimu (gore) i ljeto (dolje) za razdoblje 2041. – 2070. (lijevo) i razdoblje 2071. – 2100. (desno). S oznakom + označene su točke u kojima dvije trećine modela daje isti predznak promjene kao srednjak skupa klimatskih modela.

Zahvala

Zahvaljujem se Ivanu Güttleru iz DHMZ-a na slikama 1, 8 i 9, te na pomnom čitanju rukopisa.

Literatura

[1] E. Hawkins i R. Sutton, *The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions*, Bulletin of the American Meteorological Society, 2009, 90, 1095–1107.

[2] IPCC, *Climate change 2007: The physical science basis*, In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. (eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, 2007, Cambridge University Press, UK

[3] IPCC, *Summary for Policymakers*, In: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change*, 2013 [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, u tisku.

[4] R. Washington, *Quantifying chaos in the atmosphere*, Progress in Physical Geography 24, 4, 2000, 499–514.

[5] K. Zaninović, Gajić-Čapka M., Perčec Tadić M., Vučetić M., Milković J., Bajić A., Cindrić K., Cvitan L., Katušin Z., Kaučić D., Likso T., Lončar E., Lončar Ž., Mihajlović D., Pandžić K., Patarčić M., Srnec L., Vučetić V., *Klimatski atlas Hrvatske 1961 – 1990, 1971 – 2000*, 2008, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), Zagreb, 200 str.